

DELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN NaOH TERHADAP KUALITAS PUPUK ORGANIK CAIR

DELIGNIFICATION OF EMPTY PALM OIL BUNCHES WITH NaOH ON THE QUALITY OF LIQUID ORGANIC FERTILIZER

Winda Dwi Aulia^{1*}, Asep Tata Permana¹, Firda Dimawarnita², Yora Faramitha²

¹Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University
Jalan Lingkar Kampus, Bogor, 16680, Indonesia

²Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jalan Taman Kencana, Bogor, 16128, Indonesia
Email : 2522dwinda@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 4 Oktober 2023; Diperbaiki 2 Maret 2024; Disetujui 2 April 2024

ABSTRACT

Empty palm oil bunches (EFB) are the largest solid waste produced in every processing of palm oil and need to be utilized so as not to pollute the environment. One effort that can be made is to process EFB into liquid fertilizer. However, the high lignin content in EFB makes it difficult for this waste to decompose naturally. Therefore, efforts need to be made to reduce lignin levels in EFB with a delignification process for two hours at a temperature of 90 °C with 12% NaOH solution. The aim of this research was to evaluate the effect of delignification on the quality of liquid fertilizer (N, P, K, Ca, Mg, S, fulvic acid, C/N ratio, and pH). This study used a completely randomized design (CRD) with four treatments and five replications. P1: Non-delignified EFB, P2: P1 + cow urine, P3: delignified EFB, and P4: P3 + cow urine. Liquid fertilizer was made using a fermentation method for 21 days. The research results showed that delignification treatment was able to increase the presence of calcium and magnesium in liquid fertilizer. The combination of delignification with the addition of cow urine increases the availability of fulvic acid in liquid fertilizer.

Keywords: empty palm oil bunches, lignin, nutrients, waste

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan dalam setiap pengolahan minyak kelapa sawit dan perlu dimanfaatkan agar tidak mencemari lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengolah TKKS menjadi pupuk cair. Hanya saja, tingginya kandungan lignin pada TKKS menyebabkan limbah ini sulit terdekomposisi secara alami. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi kadar lignin pada TKKS dengan proses delignifikasi selama dua jam pada suhu 90 °C dengan larutan NaOH 12%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh delignifikasi terhadap kualitas pupuk cair (N, P, K, Ca, Mg, S, asam fulvat, rasio C/N, dan pH). Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan lima ulangan. P1: TKKS Non-delignifikasi, P2: P1 + urine sapi, P3: TKKS delignifikasi, dan P4: P3 + urine sapi. Pembuatan pupuk dilakukan dengan metode fermentasi selama 21 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan delignifikasi mampu meningkatkan keberadaan kalsium dan magnesium pada pupuk cair. Kombinasi delignifikasi dengan penambahan urine sapi meningkatkan ketersediaan asam fulvat pada pupuk cair.

Kata kunci: hara, limbah, lignin, tandan kosong kelapa sawit

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan dengan produksi yang paling tinggi di antara komoditas perkebunan lainnya di Indonesia. Produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2021 menyentuh angka 46,2 juta ton (BPS, 2022). Pengolahan kelapa sawit selain menghasilkan produk-produk untuk industri pangan hingga kosmetik, juga menghasilkan limbah dengan jumlah yang cukup tinggi. Setiap pengolahan kelapa sawit sebanyak 1 ton dihasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (shell) sebanyak 6,5% atau 65 kg, wet decanter solid (lumpur sawit) 4% atau 40 kg,

serabut (fiber) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Haryanti *et al.*, 2014).

Limbah TKKS menjadi limbah padat yang paling banyak dihasilkan di dalam pengolahan kelapa sawit. TKKS sendiri tersusun dari beberapa komponen kimia berupa selulosa 45,95%, hemiselulosa 22,84%, lignin 16,49%, minyak 2,41%, dan abu 1,23% (Warsito *et al.*, 2016). Walaupun dapat terdekomposisi secara alami, kandungan lignin yang tinggi pada TKKS menyebabkan panjangnya waktu pengomposan. Hal ini terjadi karena lignin memiliki ikatan yang kuat dengan hemiselulosa dan selulosa. Ikatan tersebut membentuk segel fisik di antara keduanya yang menghalangi enzim selulolitik mendegradasi lignoselulosa. Akibatnya, sering terjadi

penumpukan bahan organik (Howard *et al.*, 2013). Nurrohmanysah *et al.* (2019) menyebut bahwa waktu yang semakin lama pada proses pengomposan TKKS berarti semakin luas pula lahan yang digunakan untuk pengomposan. Selain itu, biaya yang digunakan juga akan semakin besar. Oleh karena itu, maka perlu adanya upaya untuk mengurangi kadar lignin yang tinggi pada TKKS.

Proses delignifikasi merupakan *pretreatment* dalam tahap persiapan guna memecah lignin sekaligus merubah struktur dan meningkatkan luas permukaan serta porositas dinding sel (Isroi, 2013, Kundu *et al.*, 2021). Delignifikasi mampu mengubah struktur kimia biomassa melalui pemutusan ikatan kovalen, hidrogen, hingga van der Waals (Agustini dan Efriyanti, 2015). Pemutusan ikatan tersebut menjadikan struktur lignoselulosa terbuka dan memudahkan enzim pemecah polisakarida mengakses selulosa untuk selanjutnya diubah menjadi monomer gula (Novia *et al.*, 2017).

Delignifikasi dapat dilakukan secara biologis, kimiawi maupun kombinasi keduanya. Delignifikasi dengan menggunakan larutan kimia lebih cepat dalam menurunkan lignin. Larutan kimia yang sering digunakan antara lain NaOH, H₂SO₄, hingga H₂O₂. Namun *et al.* (2012) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa penggunaan NaOH lebih baik dibandingkan dengan H₂SO₄ maupun H₂O₂. Hal ini karena larutan NaOH selain dapat merusak struktur lignin pada bagian kristalin dan amorf, juga dapat memisahkan sebagian hemiselulosa. Proses delignifikasi membantu perombakan bahan organik yang lebih mudah sehingga memungkinkan mikroorganisme untuk bisa memanfaatkan serabut TKKS untuk diubah menjadi unsur hara (Safaria, 2013).

Selama ini, delignifikasi pada TKKS umumnya diterapkan dalam pembuatan bioetanol, kertas, hingga bioplastik. Pemanfaatan TKKS terdelignifikasi masih jarang dilakukan dalam pembuatan pupuk atau pengomposan. Padahal, delignifikasi ini diharapkan dapat mempersingkat waktu pengomposan sehingga lebih efektif dan efisien. Selain itu juga TKKS mengandung hara dan asam-asam yang bermanfaat bagi tanaman. Salah satu asam tersebut adalah asam fulvat. Mindari *et al.* (2022) menyebutkan bahwa bahan-bahan yang mengandung lignin dapat menjadi sumber asam fulvat. Asam fulvat sendiri bermanfaat karena mampu mengendalikan kecepatan pelepasan unsur-unsur nutrisi yang mudah hilang akibat larut dalam air, menguap, maupun yang mengalami denitrifikasi (Chandra *et al.*, 2009).

Pengolahan serabut TKKS menjadi pupuk organik cair dipilih karena pupuk organik cair dapat diserap lebih mudah dan dapat diformulasi sesuai kebutuhan (Karmanah *et al.*, 2023). Selain itu, pupuk organik juga mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Sifat fisik tanah seperti agregat tanah, permeabilitas tanah, aerasi tanah, daya

menahan air tanah, mengurangi erosi tanah, tanah tidak mengeras (*crust*) dan merekah saat kekeringan. Kemudian sifat kimia yang dapat diperbaiki dari penggunaan pupuk organik antara lain kapasitas tukar kation (KTK), daya sangga tanah, penekanan racun, efisiensi pemupukan, penambahan unsur hara tanah, dan pembentukan chelat yang meningkatkan unsur hara mikro. Lalu terkait sifat biologi tanah, pupuk organik mampu menjadi sumber energi mikroorganisme (Firmansyah 2010). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kualitas pupuk cair asal serabut TKKS yang didahului dengan proses delignifikasi.

BAHAN DAN METODE

Proses Delignifikasi

Sebanyak 5 kg serabut TKKS kering dimasukkan ke dalam drum kapasitas 150 L lalu ditambahkan larutan NaOH 12% sebanyak 50 L hingga merendam seluruh bagian TKKS. Setelah itu, dilakukan pemanasan dengan alat berupa kompor mawar dengan panas tertinggi hingga suhu cairan di dalam drum mencapai 90 °C. Suhu cairan kemudian dipertahankan dengan menurunkan panas kompor pada taraf medium dan dilanjutkan dengan pemasakan selama 2 jam. Metode delignifikasi ini merupakan modifikasi dari metode delignifikasi yang dilakukan oleh Dimawarnita *et al.* (2019) yang menemukan bahwa lignin pada limbah media tanam jamur tiram yang berasal dari limbah TKKS mampu terdegradasi dan larut secara menyeluruh pada proses delignifikasi menggunakan NaOH 12% dengan waktu pemasakan selama 1 jam pada suhu 100 °C. Modifikasi lama pemasakan dan suhu pada penelitian ini dilakukan karena TKKS yang didelignifikasi masih berupa serabut dengan panjang pada rentang 10-15 cm, sementara pada penelitian Dimawarnita *et al.* (2019) TKKS berupa cacahan berukuran 2-3 cm.

Sebelum memasuki tahap pencucian, serabut TKKS dan cairan delignifikasi dibiarkan selama 24 jam hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya dilakukan pemisahan antara serabut dengan cairan lindi hitam. Pencucian dilakukan dengan bantuan mesin cuci dan penyaring nilon hingga pH serabut TKKS mencapai pH netral. Pengukuran pH dilakukan dengan bantuan kertas indikator pH. Pencucian dan pembilasan yang dilakukan menyebabkan NaOH yang melekat pada serabut TKKS tercuci sehingga membuat serabut TKKS mencapai pH netral. Serabut TKKS yang telah mencapai pH netral lalu dikeringkan di dalam *dome dryer* selama 2-3 hari.

Pembuatan Pupuk Cair

Setelah serabut TKKS non-delignifikasi (P1 dan P2) dan delignifikasi (P3 dan P4) siap, langkah berikutnya yang perlu dilakukan adalah pembuatan larutan. Larutan yang digunakan terdiri dari dua perlakuan. Pertama merupakan larutan tanpa urine (P1 dan P3), dan kedua larutan dengan campuran

urine sapi sebanyak 600 mL (P2 dan P4). Urine sapi yang digunakan merupakan urine sapi pedaging yang diperoleh dengan cara menadah secara langsung sehingga tidak ada kontaminasi kotoran. Urine sapi tersebut didapat dari beberapa sapi hingga memenuhi jumlah yang dibutuhkan. Urine yang terkumpul tersebut kemudian dihomogenkan dalam satu wadah.

Jumlah larutan yang dibutuhkan untuk membuat satu ulangan percobaan pupuk cair adalah sebanyak 7,5 L yang terdiri dari EM4 (100 mL), molases (100 mL), urine (untuk larutan kedua) dan air. Larutan yang telah siap kemudian dimasukkan ke dalam drum untuk kemudian ditambahkan serabut TKKS sesuai perlakuan sebanyak 500 g dan diaduk. Drum kemudian ditutup rapat untuk dilakukan fermentasi selama 23 hari (Gambar 1). Pemilihan waktu fermentasi pada penelitian ini merupakan modifikasi dari metode yang digunakan oleh Illing dan Mardianah (2018) pada substrat yang sama yaitu TKKS. Tutup drum yang digunakan telah dilubangi sebelumnya dan tersambung dengan selang yang menghubungkan drum dengan botol mineral berisi air (Gambar 2). Selang ini digunakan agar suhu di dalam drum tetap stabil dan gas yang dihasilkan dapat terbuang tanpa ada kontaminasi udara luar yang masuk (Kementan, 2020).



Gambar 1. Drum yang digunakan dalam pembuatan pupuk cair

Figure 1. Drums used in making liquid fertilizer



Gambar 2. Tutup yang tersambung dengan selang dan air pada botol

Figure 2. The cap was connected to the hose and water in the bottle

Pengujian Hara dan Asam Fulvat Pupuk Organik Cair

Cairan supernatan yang dihasilkan kemudian disebut sebagai pupuk organik cair dan dilakukan pengukuran hara. Pengukuran dilakukan dengan Metode Kjeldahl (N-total), destruksi $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ yang dilanjutkan dengan spektrofotometer (P dan S) dan AAS (K_2O , Ca, Mg) serta pengukuran dengan Metode Walkley & Black (C-organik).

Metode Kjeldahl (Widyabudiningsih et al. 2021)

Sampel ditimbang seksama sebanyak 5 gram, lalu dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 100 mL. Sampel ditambahkan 25 mL H_2SO_4 pekat. Sampel didestruksi selama ± 2 jam dengan suhu ± 350 °C hingga warna larutan menjadi jernih. Larutan sampel didinginkan lalu ditambahkan 60 mL NaOH 40%. Larutan sampel disulingkan selama lebih kurang 10 menit. Sebagai penampung, digunakan 10 mL larutan asam borat 1% yang telah dicampur indikator. Ujung pendingin lalu dibilas dengan air suling. Distilat dititrasi dengan larutan HCl 0,1 N. Setelah itu, dilakukan penetapan H_2SO_4 sebagai blanko. Penentuan kadar total nitrogen dalam pupuk

$$\text{Total N} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 14,008 \times f}{W \times 1000} \times 100\%$$

Keterangan:

- V1 (mL) = Volume H_2SO_4 0,1 N/HCl 0,1 N yang dipakai pada titrasi blanko
- V2 (mL) = Volume H_2SO_4 0,1 N/HCl 0,1 N yang dipakai pada titrasi sampel
- N = Normalitas H_2SO_4 0,1 N/HCl 0,1 N yang dipakai sebagai titran
- W = Berat sampel (g)
- 14,008 = Berat atom (BA) nitrogen
- f = faktor pengenceran

Destruksi $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (Balai Tanah)

Preparasi sampel dilakukan dengan mendestruksi sampel dengan larutan HNO_3 dan HClO_4 . Destruksi diakhiri apabila muncul uap putih dan cairan hanya tersisa 0,5 mL. Larutan hasil preparasi kemudian ditambahkan dengan air hingga volumenya mencapai 50 mL untuk selanjutnya dikocok dan didiamkan semalam hingga terbentuk ekstrak jernih (ekstrak A).

Pengukuran P dan S

Sampel yang telah dipreparasi dilanjutkan dengan pengukuran menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang untuk P dan S berturut-turut yaitu 693 nm dan 432 nm. Nilai absorbansi kemudian dicatat. Rumus yang digunakan untuk menghitung kandungan P adalah sebagai berikut:

$$P (\%) = \text{ppm kurva} \times \frac{\text{ml ekstrak}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100}{\text{mg contoh}} \times \frac{Ar}{Mr} \times f_p \times f_k$$

Keterangan:

- ppm kurva = kurva regresi kadar deret standar dikurangi blanko
- Ar = massa atom relatif
- Mr = massa molekul relatif
- Fp = faktor pengencer
- fk = faktor koreksi kadar air

Pengukuran Ca dan Mg

Sebanyak 1 mL ekstrak A dimasukkan ke dalam tabung kimia dan ditambahkan 9 ml akuades dan larutan LaCl₃ 25.000 ppm. Sebanyak 10 ml larutan standar dimasukkan ke dalam tabung dan ditambahkan dengan campuran LaCl₃ 25.000 ppm sebanyak 1 ml lalu dihomogenkan dan diukur dengan spektrofotometer serapan atom (AAS). Rumus yang digunakan untuk mengukur kadar Ca dan Mg sebagai berikut:

$$\text{Ca, Mg (\%)} = \text{ppm kurva} \times \frac{\text{ml ekstrak}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100}{\text{mg contoh}} \times \text{fp} \times \text{fk}$$

Keterangan:

- ppm kurva = kurva regresi kadar deret standar dikurangi blanko
- Fp = faktor pengencer
- fk = faktor koreksi kadar air

Walkley & Black (Balai Tanah)

Pengukuran C-Organik dilakukan dengan oksidasi dengan menggunakan kalium dikromat. Sebanyak 1 g pupuk dimasukkan ke dalam labu ukur dan ditambahkan kalium dikromat (K₂CrO₇) 2 N sebanyak 5 mL kemudian dikocok. Setelah itu, ditambahkan dengan asam sulfat pekat (H₂SO₄) 98% dan dikocok kembali. Sampel kemudian didiamkan selama 30 menit dan diencerkan dengan akuades hingga volumenya mencapai 100 mL dan dihomogenkan kembali. Setelah didiamkan semalam, sampel diuji dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 651 nm.

$$\text{Kadar C-Organik (\%)} = \text{ppm kurva} \times \frac{100}{\text{mg contoh}} \times \text{fk}$$

Keterangan:

- ppm kurva = kurva regresi kadar deret standar dikurangi blanko
- fk = faktor koreksi kadar air

Pengukuran Asam Fulvat (Metode Internal Balai Tanah)

Sebanyak 1 g sampel dimasukkan ke dalam botol ekstrak kemudian ditambahkan sebanyak 25 mL larutan Na-pirofosfat. Campuran tersebut kemudian dikocok selama 30 menit dan didiamkan selama satu malam untuk memperoleh filtrat. Filtrat didapatkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring. Penetapan total asam humat + fulvat yaitu dengan mengambil 1 g filtrat dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Sebanyak 5 mL K₂Cr₂O₇ (2N) + 7,5 mL

H₂SO₄ ditambahkan ke dalam labu ukur tersebut dan dilanjutkan dengan pengukuran menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 561 nm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rasio C/N

Rasio C/N pupuk yang dekat dengan rasio C/N tanah (10-20), akan membuat unsur hara yang ada di dalamnya mudah untuk diserap ke dalam tanah. Rasio yang terlalu tinggi akan membutuhkan lebih banyak nitrogen untuk mikroorganisme mendekomposisi bahan tersebut. Hal ini dapat menyebabkan tanaman kekurangan hara nitrogen (Prasetyo dan Evizal 2021). Hasil pengukuran rasio C/N, pH, dan asam fulvat pada pupuk cair disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rasio C/N, pH, dan Asam Fulvat pupuk cair berbagai perlakuan

Tabel 1. C/N ratio, pH, and Fulvic Acid on various treatments

Perlakuan	Parameter		
	Rasio C/N	pH	Asam Fulvat (%)
P1	66± 8 ^a	4,55 ± 0,09 ^b	8,24 ± 0,04 ^c
P2	23± 4 ^b	5,4 ± 0,4 ^a	8,52 ± 0,02 ^b
P3	86± 8 ^a	4,84 ± 0,09 ^{ab}	7,95 ± 0,04 ^d
P4	18,6± 0,8 ^b	5,3 ± 0,06 ^a	9,16 ± 0,04 ^a
<i>p-value</i>	0,04	0,04	0,04

Keterangan: Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata hasil uji DMRT (P<0,05). P1: serabut TKKS; P2: serabut TKKS + urine sapi; P3: serabut TKKS terdelignifikasi; P4: serabut TKKS terdelignifikasi + urine sapi

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa penambahan urine sapi pada pembuatan pupuk cair (P2 dan P4) menunjukkan adanya perbedaan yang nyata (P<0,05) terhadap rasio C/N yang lebih rendah. Rasio C/N yang lebih rendah menunjukkan bahwa bahan organik lebih banyak mengalami dekomposisi dibandingkan dengan pupuk dengan nilai rasio C/N yang lebih tinggi. Penambahan urine menyebabkan peningkatan kandungan nitrogen pada pupuk cair. Semakin tinggi nitrogen, semakin rendah nilai C/N. Selain itu, urine juga menyumbang keberadaan mikroorganisme. Mikroorganisme menggunakan karbon untuk energi sehingga dapat menurunkan nilai C/N.

Pupuk P3 memiliki nilai C/N yang lebih tinggi dibandingkan dengan P1. Berdasarkan uji yang dilakukan pada penelitian ini, perlakuan delignifikasi nyata (P<0,05) menurunkan nilai C-organik. Nilai C-organik pupuk P1 dan P3 berturut-turut yaitu 9,46% dan 7,03%. Namun, perlakuan delignifikasi juga menurunkan kadar nitrogen sehingga nilai C/N yang dihasilkan P3 lebih tinggi dibandingkan dengan P1. Tingginya rasio C/N pada pupuk ini dapat disebabkan karena tingginya rasio C/N pada TKKS. Nisbah rasio yang semakin tinggi akan memperlambat dekomposisi sehingga memperpanjang waktu fermentasi (Ekawandani dan Kusuma, 2018). Gotaas (1956) dan Sutanto (2002) menyebutkan bahwa

kebutuhan C dan N untuk mendukung optimalnya pertumbuhan mikroorganisme adalah pada rasio 30:1. Rasio yang ideal ini mendukung terdegradasinya bahan organik dengan baik.

Derajat Keasaman (pH)

Hasil uji statistik (Tabel 1) menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0,05$) pada pH. pH tertinggi diperoleh pada P2 sebesar 5,40 dan terendah pada P1 sebesar 4,55. Widarti *et al.* (2015) menyebutkan bahwa pH yang cenderung asam pada penelitian ini terjadi karena terbentuknya asam-asam organik sederhana pada awal pengomposan. Asam organik ini terbentuk dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme yang terdapat pada EM4 maupun urine yang digunakan.

pH pupuk cair pada berbagai perlakuan di penelitian ini telah memenuhi syarat minimum yang ditetapkan pada Permentan No.261/KPTS/SR.310/M/4/2019 yaitu pada rentang 4-9. Ekawandani dan Kusuma (2018) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pH berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba. Apabila pH terlalu tinggi, maka dapat mengakibatkan perubahan unsur nitrogen menjadi senyawa amonia yang dapat berbahaya bagi tanaman.

Asam Fulvat

Hasil uji statistik (Tabel 1) menunjukkan adanya pengaruh yang nyata dari setiap perlakuan yang diberikan ($P < 0,05$). Kadar asam fulvat terendah ditemukan pada P3 sebesar 7,95%. Hal ini terjadi karena pada proses delignifikasi kadar lignin berkurang sementara lignin merupakan salah satu sumber asam fulvat. Mindari *et al.* (2022) menyebutkan bahwa bahan-bahan organik yang menjadi sumber asam fulvat adalah lignin, pupuk kandang, dan leonardite. Lignin ($C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n$) pada TKKS larut saat proses delignifikasi karena terbentuknya garam fenolat. Safaria (2013) menjelaskan bahwa Ion OH^- dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin

dan membentuk H_2O . Selama reaksi tersebut, dihasilkan fulvat yang terbentuk dari gugus O yang membentuk radikal bebas dan bereaksi dengan C. Sementara itu, ion Na^+ akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam fenolat ini bersifat mudah larut.

Asam fulvat merupakan salah satu asam organik yang terbentuk dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme. Semakin banyak bahan organik yang berhasil diuraikan oleh mikroorganisme semakin banyak asam organik yang dihasilkan. Asam fulvat pada P4 menjadi yang tertinggi diduga karena kombinasi antara serabut TKKS delignifikasi dengan pemberian urine sapi. TKSS delignifikasi menyebabkan substrat lebih mudah diurai oleh mikroorganisme. Sementara itu, mikroorganisme juga bertambah tidak hanya dari EM4 melainkan juga dari urine sapi. Kombinasi tersebut menyebabkan asam organik yang dihasilkan dari P4 lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Kandungan N-total

Nitrogen diperlukan bagi tanaman untuk meningkatkan pertumbuhan (daun, batang, dan akar), kadar protein, dan kualitas tanaman (Sutedjo, 2002). Data hasil pengukuran kandungan N-total, P_2O_5 dan K_2O disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan menunjukkan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$) terhadap kandungan N-total pada pupuk cair (Tabel 2). Pupuk organik cair yang berasal dari TKKS dengan penambahan urine memiliki kandungan nitrogen yang lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan urine sapi. Hal ini karena di dalam urine sapi yang digunakan terkandung nitrogen sebanyak 0,8% sehingga turut menyumbang keberadaan nitrogen pada POC yang dihasilkan. Hanya saja, POC yang dihasilkan belum memenuhi syarat teknis minimal kandungan nitrogen yang ditetapkan pada Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia No. 261 Tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Mutu Pupuk Organik Cair sebesar 0,5%.

Tabel 2. Hasil pengukuran hara NPK pada pupuk cair

Table 2. Results of NPK nutrient measurements in liquid fertilizer

Perlakuan	Parameter			Total N+ P_2O_5 + K_2O
	N-total	P_2O_5	K_2O	
	-----%-----			
P1	0,15 ± 0,01 ^b	0,014 ± 0,005 ^a	0,14 ± 0,00 ^b	0,30
P2	0,36 ± 0,06 ^a	0,013 ± 0,001 ^a	0,17 ± 0,01 ^a	0,54
P3	0,08 ± 0,01 ^b	0,002 ± 0,001 ^b	0,02 ± 0,00 ^d	0,10
P4	0,35 ± 0,01 ^a	0,007 ± 0,000 ^{ab}	0,07 ± 0,00 ^c	0,43
<i>p-value</i>	0,000	0,016	0,000	Standar: 2%*

Keterangan: Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata hasil uji DMRT ($P < 0,05$). P1: serabut TKKS; P2: serabut TKKS + urine sapi; P3: serabut TKKS terdelignifikasi; P4: serabut TKKS terdelignifikasi + urine sapi.

* Permentan No.261/KPTS/SR.310/M/4/2019

Kandungan N-total pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan pada penelitian serupa yang

dilakukan oleh Illing dan Mardianah (2018) yang mendapatkan kadar N-total pada rentang 0,6%-0,8%.

Rendahnya kandungan hara nitrogen pada penelitian ini karena tidak dilakukan penghalusan substrat TKKS dan tidak adanya penambahan substrat kulit kakao sebagaimana pada penelitian Illing dan Mardianah (2018).

Kandungan Fosfor

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam, kandungan fosfor pada pupuk cair nyata dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan ($P < 0,05$). Perlakuan tanpa delignifikasi cenderung memiliki kandungan fosfor yang lebih tinggi (P1 dan P2) dibandingkan dengan perlakuan dengan delignifikasi (Tabel 2). Walaupun begitu, seluruh perlakuan pada penelitian ini masih belum mencapai standar minimum yang ditetapkan pada Permentan No.261/KPTS/SR.310/M/4/2019.

Rendahnya kandungan fosfor pada proses delignifikasi dapat terjadi karena fosfor dalam tanaman terdapat dalam bentuk asam nukleat, fosfolipid, dan fitin yang dapat rusak dan menjadikannya sulit terlarut sehingga rendah keberadaannya dalam pupuk cair. Hal ini sesuai dengan Pelezar (1988) yang menyebutkan bahwa suhu tinggi dan konsentrasi pekat beberapa zat kimia dapat mengakibatkan koagulasi irreversibel komponen sel. Lebih lanjut, perlakuan tersebut mengakibatkan denaturasi asam nukleat yang merusak sel tanpa dapat diperbaiki kembali. Sugiyono (2004) menerangkan bahwa denaturasi merupakan hilangnya aktivitas biologis yang berupa perubahan sifat fisiko-kimia yang meliputi hilangnya kemampuan melarut. Artinya, terjadi proses pengendapan, terbentuknya gel, terbukanya gugus reaktif (sulfhidril), lebih mudah mengalami hidrolisa enzimatis (sehingga daya cernanya lebih baik), perubahan defraksi atau pembiasan sinar X dan putaran optis.

Kandungan Kalium

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan kadar kalium tertinggi

ditemui pada P2 (Tabel 2). Perlakuan delignifikasi dan pemberian urine menjadi faktor yang mempengaruhi kadar kalium pada penelitian. Delignifikasi diduga menghilangkan kadar kalium pada proses perebusan dan pencucian berulang. Hal ini sejalan dengan penelitian Irawan *et al.* (2021) yang menyebutkan bahwa mineral kalium dapat mengalami pelapukan secara fisik dan kimia. Secara fisik, kalium dapat melapuk dengan menghancurkan ukuran partikel menjadi lebih halus, sedangkan pelapukan kimia dilakukan melalui hidrolisis. Selain itu, tidak adanya pengadukan pada saat proses fermentasi juga diduga menjadi alasan rendahnya kandungan hara makro pada pupuk cair ini, sebagaimana disebutkan oleh Cagayana *et al.* (2018) bahwa pengadukan yang lebih sering pada proses pengomposan dapat menghasilkan kadar kalium yang lebih tinggi.

Kandungan Kalsium

Kalsium merupakan unsur hara makro lainnya yang juga dibutuhkan tanaman walaupun jumlahnya lebih sedikit dibanding dengan NPK. Unsur ini dibutuhkan tanaman untuk melakukan pembentukan akar, biji, dan mengeraskan batang. Kalsium juga dapat memperkuat ketahanan tanaman dalam melawan penyakit seperti hawar daun bakteri (Supriyadi, 2009).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada parameter terhadap perlakuan yang diberikan (Tabel 3). Kandungan kalsium pada pupuk organik cair dengan perlakuan delignifikasi memiliki angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa delignifikasi. Kalsium merupakan penyusun struktural dinding dan membran sel. Dinding sel pada tanaman tersebut dapat rusak akibat perlakuan panas dan alkali (Shi *et al.*, 2018, White dan Broadley., 2003). Hal tersebut diduga menjadi penyebab tersedianya kalsium yang lebih tinggi pada pupuk cair yang berasal dari TKKS dengan delignifikasi. Kadar kalsium, magnesium dan sulfur pada pupuk cair disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran hara kandungan Ca, Mg, dan S pada pupuk cair

Table 3. Results of Ca, Mg, and S nutrient measurements in liquid fertilizer

Perlakuan	Parameter		
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)
P1	31 ± 9 ^b	33 ± 8 ^b	146 ± 12 ^b
P2	45 ± 8 ^b	46 ± 4 ^b	158 ± 9 ^a
P3	241 ± 4 ^a	123 ± 2 ^a	20 ± 9 ^c
P4	226 ± 5 ^a	115 ± 9 ^a	115 ± 13 ^{bc}
<i>p-value</i>	0,000	0,000	0,012

Keterangan: Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata hasil uji DMRT ($P < 0,05$). P1: serabut TKKS; P2: serabut TKKS + urine sapi; P3: serabut TKKS terdelignifikasi; P4: serabut TKKS terdelignifikasi + urine sapi.

Kandungan Magnesium

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang

berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap kandungan magnesium. Selaras dengan kalsium, kandungan hara magnesium pada penelitian ini menunjukkan

terjadinya peningkatan ketersediaan unsur Mg dari adanya perlakuan delignifikasi (Tabel 3). Hal ini terjadi karena magnesium selain berperan dalam proses fotosintesis karena menyusun klorofil, unsur ini juga menjadi atom penyusun sel yang penting bagi tanaman (Luacas *et al.*, 2015). Sel tersebut diduga rusak selama proses delignifikasi dan menyebabkan unsur magnesium tidak terikat di dalam sel sehingga jumlahnya mengalami peningkatan.

Kandungan Sulfur

Sulfur berperan sebagai penyusun protein, vitamin, enzim, dan hormon bagi tanaman (Ilham *et al.*, 2019). Sulfur diserap akar dalam bentuk ion sulfat dan mengalami reduksi di dalam tanaman menjadi gugusan sulfhidril (-SH). Kandungan sulfur pada penelitian menunjukkan angka yang berbeda nyata ($P < 0,05$). Sulfur dengan perlakuan delignifikasi memiliki kandungan yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan tanpa delignifikasi (Tabel 3). Sugiyono (2004) menyebut bahwa proses pendidihan senyawa mengandung protein dalam NaOH 5N dapat mengakibatkan protein terhidrolisis secara sempurna. Tisdale *et al.* (1985) menyebutkan bahwa 90% S dalam tanaman ditemukan dalam bentuk asam amino. Asam amino tersebut berfungsi menyusun protein dalam pembentukan ikatan disulfida antara rantai-rantai peptida. Hal tersebut diduga menjadi penyebab berkurangnya sulfur pada substrat TKKS pada saat proses delignifikasi dengan larutnya sulfur bersama dengan air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Delignifikasi pada serabut TKKS memberikan pengaruh pada ketersediaan hara pupuk organik cair yang dibuat. Perlakuan dengan delignifikasi meningkatkan ketersediaan unsur hara magnesium dan kalsium pada pupuk cair. Kombinasi perlakuan delignifikasi dengan penambahan urine sapi mampu meningkatkan kadar asam fulvat pada pupuk.

Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai lama waktu delignifikasi dan pengomposan perlu dilakukan untuk mengembangkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini L dan Efiyanti L. 2015. Pengaruh perlakuan delignifikasi terhadap hidrolisis selulosa dan produksi etanol dari limbah berlignoselulosa. *JPHH*. 33(1): 69 – 80. doi: [10.20886/jphh.v33i1.640.69-80](https://doi.org/10.20886/jphh.v33i1.640.69-80)
- [BPS]. Badan Pusat Statistik. 2022. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021*. Jakarta: BPS.
- Cagayana, Samudro G, dan Hadiwidodo M. 2018. Penentuan pengadukan optimum berdasarkan pengomposan dan produksi listrik dalam CSMFCs (*Compost Solid Phase Microbial Fuel Cells*). *JSTL*. 10(2): 88–100. doi: [10.20885/jstl.vol10.iss2.art2](https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss2.art2)
- Chandra PK, Ghosh K, dan Varadachari C. 2009. A new slow-releasing iron manganese fertilizer compound. *Chemical Engineering Journal*. 155 (1-2): 451 – 456. doi: [10.1016/j.cej.2009.07.017](https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.07.017)
- Dimawarnita F, Faramitha Y, dan Tipanji. 2018. Peningkatan kemurnian selulosa dan karboksimetil selulosa (CMC) hasil konversi limbah TKKS melalui perlakuan NaOH 12%. *Menara Perkebunan*. 87(2): 95 – 153. doi: [10.22302/iribb.jur.mp.v87i2.339](https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v87i2.339)
- Ekawandani N dan Kusuma AA. 2018. Pengomposan sampah organik (kubis dan kulit pisang) dengan menggunakan EM4. *TEDC*. 12(1): 38–43. doi: [10.31227/osf.io/3gt26](https://doi.org/10.31227/osf.io/3gt26)
- Firmansyah AM. 2010. *Teknik Pembuatan Kompos*. Kalimantan Tengah: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian.
- Gotaas HB. 1956. *Composting, Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Waste*. World Health Org. Geneva, Switzerland.
- Haryanti A, Norsamsi, Sholiha PSF, Putri PN. 2014. Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*. 3(2): 57 – 66. doi: [10.20527/k.v3i2.161](https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161)
- Howard JR, Amidon TE, Liu S, Wood CD, penemu; Biorefinery Sciences. 2013 Des 21. Biorefinery process for extraction, separation, and recovery of fermentable saccharides, other useful compounds, and yield of improved lignocellulosic material from plant biomass. United States Patent ID US00861828OB2
- Ilham F, Prasetyo TB, dan Prima S. 2019. Pengaruh pemberian dolomit terhadap beberapa sifat kimia tanah gambut dan pertumbuhan serta hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L). *Journal Solum*. 17(1): 29–39. doi: [10.25077/jsolum.16.1.29-39.2019](https://doi.org/10.25077/jsolum.16.1.29-39.2019)
- Illing I dan Mardianah S. 2018. Analisis kadar nitrogen pupuk organik cair limbah kulit kakao dan tandan kosong kelapa sawit dengan starter EM-4. *Jurnal Dinamika*. 9(1): 29 – 37.
- Irawan S, Tampubolon K, Elazhari, Julian. 2021. Pelatihan pembuatan pupuk cair organik dari air kelapa dan molase, nasi basi, kotoran kambing serta activator jenis produk EM4. *J-LAS*. 1(3): 1 – 18.
- Isroi. 2013. Peningkatan digestibilitas dan perubahan struktur tandan kosong kelapa sawit oleh pretreatment *Pleurotus floridanus* dan asam fosfat. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Karmanah, Amrudin, Suanda IW, Hengga KU, Ashar JR, Killa YM, Sutiharni, Martanto EA,

- Jawang UP. 2022. *Pertanian Organik*. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2020. Membuat Pupuk Organik Cair. Jakarta: Kementan.
- [Kepmentan] Keputusan Menteri Pertanian. 2019. Kepmentan/261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimum Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.
- Kundu C, Samudrala SP, Kibria MA, Bhattacharya S. 2021. One-step peracetic acid pretreatment of hardwood and softwood biomass for platform chemicals production. *Scientific Reports*. 11(1): 1–11. doi: [10.1038/s41598-021-90667-9](https://doi.org/10.1038/s41598-021-90667-9)
- Luacas PA, Elvira MMY, Monzón MDC, Jeandet SMM, Ramos VARDS, Bearzzotti GCM. 2015. Effects of nutritional trunk injections on valencia late orange production. *Cultivos Tropicales*. 36(2) : 142-147.
- Mindari W, Sasongko PE, dan Syekhfani. 2022. *Asam Humat sebagai Amelioran dan Pupuk*. Ed-3. Surabaya: UPN “Veteran” Jawa Timur.
- Novia, Wijaya D, dan Yanti P. 2017. Pengaruh waktu delignifikasi terhadap lignin dan waktu SSF terhadap etanol pembuatan bioetanol dari sekam padi. *JTK*. 23(1): 19 – 27.
- Nurrohmanysah R, Indriyani A, Ekaliana, Telaumbanua M. 2019. Alat pembuat pupuk cair otomatis dari limbah tandan kosong kelapa sawit berbasis mikrokontroler. *Jurnal Agroteknika*. 2(2): 51-58. doi: [10.32530/agroteknika.v2i2.43](https://doi.org/10.32530/agroteknika.v2i2.43)
- Prasetyo D dan Evizal R. 2021. Pembuatan dan upaya peningkatan kualitas pupuk organik cair. *Jurnal Agrotropika*. 20(2): 68 – 80.
- Safaria S, Idiawati N, dan Zaharah TA. 2013. Efektivitas campuran enzim selulase dari *Aspergillus niger* dan *Trichoderma reesei* dalam menghidrolisi substrat sabut kelapa. *JKKMIPA*. 2(1) : 46-51
- Shi J, Lu Y, Zhang Y, Cai L, Shi SQ. 2018. Effect of thermal treatment with water, H₂SO₄ and NaOH aqueous solution on color, cell wall and chemical structure of poplar wood. *Scientific Reports*. 8(1): 1 – 9. doi: [10.1038/s41598-018-36086-9](https://doi.org/10.1038/s41598-018-36086-9)
- Singh A dan Bishnoi NR. 2012. Enzymatic hydrolysis optimization of microwave alkali pretreated wheat straw. *Bioresource Technology*. 108: 95 – 101. doi: [10.1016/j.biortech.2011.12.084](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.084)
- Sugiyono. 2004. *Kimia Pangan*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Supriyadi S. 2009. Status unsur-unsur basa (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, dan Na⁺) di lahan kering Madura. *AGRIVOR*. 2(1): 35 – 40.
- Sutanto R. 2002. *Penerapan Pertanian Organik*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Sutedjo MM. 2002. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Tisdale SL, Nelson WL, dan Beaton JD. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Ed-4. New York: MacMillan Publishing Company.
- Warsito J, Sabang SM, dan Mustapa K. 2016. Pembuatan pupuk organik dari limbah tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Akademika Kimia*. 5(1): 8 – 15.
- White PJ dan Broadley MR. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92(4): 487 – 511. doi: [10.1093/aob/164](https://doi.org/10.1093/aob/164)
- Widarti BN, Wardhini WK, dan Sarwono E. 2015. Pengaruh rasio c/n bahan baku pada pembuatan kompos dari kubis dan kulit pisang. *JIP*. 5(2): 75 – 80.
- Widyabudiningsih D, Troskialina L, Fauziah S, Shalihatunnisa, Riniati, Djenar NS, Hulupi M, Indrawati L, Fauzan A, Abdilah F. 2021. Pembuatan dan pengujian pupuk organik cair dari limbah kulit buah-buahan dengan penambahan bioaktivator EM4 dan variasi waktu fermentasi. *IJCA*. 4(1): 30-39. doi: [10.20885/ijca.vol4.iss1.art4](https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art4)